

[A Translation of Japanese Patent Application Laid-Open No. 2000-131610]

(19) Japan Patent Office

(12) **Publication of a Patent Application (A)**

(11) Patent Application Laid-Open as  
**2000-131610**  
(P2000-131610A)

(43) Laid-Open on May 12, 2000

(51) Int. Cl. <sup>7</sup> G02B 15/16 13/18	ID H10-307337	FI G02B 15/16 13/18	Theme Code 2H087
---	------------------	---------------------------	---------------------

Request for examination: yet to be made;  
Number of claims: 24; OL (15 pages in total)

(21) Application No. H10-307337  
(22) Application Date October 28, 1998

(71) Applicant 000002185  
SONY CORP.

(72) Inventor Shinagawa-ku, Tokyo, Japan  
Masafumi SUEYOSHI  
c/o SONY CORP.

(74) Agent 100069051  
Patent Attorney Yuji KOMATSU

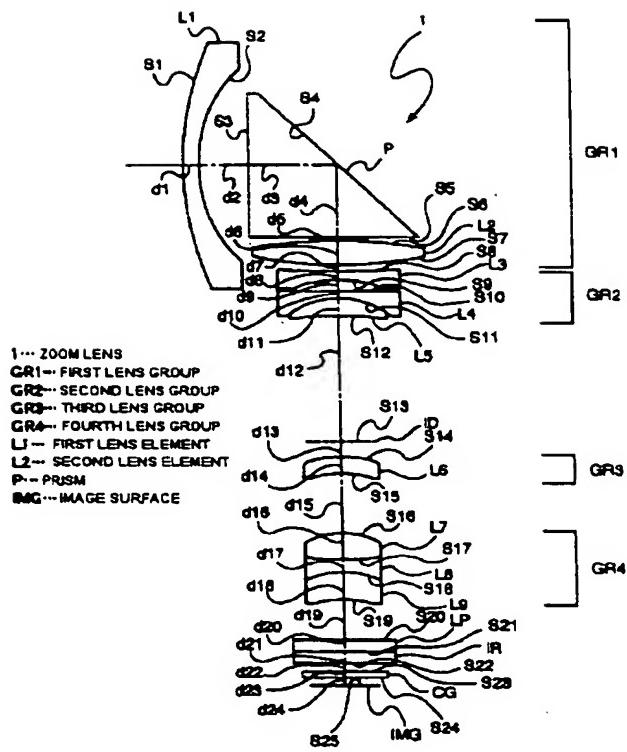
Continues to the last page.

(54) [Title of the Invention] ZOOM LENS

(57) [Abstract]

**[Objects]** To provide a compact zoom lens having a zoom ratio of about 3 which is suitable for an image-taking apparatus such as a compact video camera or digital still camera.

**[Features]** A zoom lens is composed of, from the object side to the image plane IMG side, a first lens group GR1 having a positive refractive power, a second lens group GR2 having a negative refractive power, a third lens group having a positive refractive power, and a fourth lens group GR4 having a positive refractive power. Zooming is achieved by moving the second and fourth lens groups. The first lens group is composed of, from the object side, a first lens element L1, which is a single lens element having a negative refractive power, a prism P for bending the optical path, and a second lens element L2, which is a single lens element having a positive refractive power.



**[Claims]**

**[Claim 1]** A zoom lens comprising, from an object side to an image plane side,  
a first lens group having a positive refractive power,  
a second lens group having a negative refractive power,  
a third lens group having a positive refractive power, and  
a fourth lens group having a positive refractive power,  
the second and fourth lens groups being moved to achieve zooming,

wherein the first lens group is composed of, from the object side, a first lens element,  
which is a single lens element having a negative refractive power, a prism for bending an  
optical path, and a second lens element, which is a single lens element having a positive  
refractive power.

**[Claim 2]** A zoom lens as claimed in claim 1, wherein the following conditions are  
fulfilled:

$$ndL1 > 1.75$$

$$vdL1 < 30$$

where

$ndL1$  represents a refractive index for the d-line of the first lens element, and

$vdL1$  represents an Abbe number for the d-line of the first lens element.

**[Claim 3]** A zoom lens as claimed in claim 1, wherein at least one of surfaces of the first  
lens element is an aspherical surface.

**[Claim 4]** A zoom lens as claimed in claim 1, wherein a surface of the first lens element  
facing the object side is a convex surface.

**[Claim 5]** A zoom lens as claimed in claim 2, wherein a surface of the first lens element  
facing the object side is a convex surface.

**[Claim 6]** A zoom lens as claimed in claim 3, wherein a surface of the first lens element  
facing the object side is a convex surface.

**[Claim 7]** A zoom lens as claimed in claim 1, wherein at least one of surfaces of lens  
elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 8]** A zoom lens as claimed in claim 2, wherein at least one of surfaces of lens  
elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 9]** A zoom lens as claimed in claim 3, wherein at least one of surfaces of lens  
elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 10]** A zoom lens as claimed in claim 4, wherein at least one of surfaces of lens  
elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 11]** A zoom lens as claimed in claim 5, wherein at least one of surfaces of lens elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 12]** A zoom lens as claimed in claim 6, wherein at least one of surfaces of lens elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface.

**[Claim 13]** A zoom lens as claimed in claim 1, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 14]** A zoom lens as claimed in claim 2, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 15]** A zoom lens as claimed in claim 3, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 16]** A zoom lens as claimed in claim 4, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 17]** A zoom lens as claimed in claim 5, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 18]** A zoom lens as claimed in claim 6, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GR1}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 19]** A zoom lens as claimed in claim 7, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GR1}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 20]** A zoom lens as claimed in claim 8, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GR1}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 21]** A zoom lens as claimed in claim 9, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GR1}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 22]** A zoom lens as claimed in claim 10, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GR1}$  represents a focal length of the first lens group, and

$fw$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 23]** A zoom lens as claimed in claim 11, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$f_w$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

**[Claim 24]** A zoom lens as claimed in claim 12, wherein the following condition is fulfilled:

$$4.5 < f_{GRI} / f_w < 12$$

where

$f_{GRI}$  represents a focal length of the first lens group, and

$f_w$  represents a focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

### **[Detailed Description of the Invention]**

#### **[0001]**

**[Field of the Invention]** The present invention relates to a zoom lens having a zoom ratio of about 3 which is suitable for a compact video camera, digital still camera, or the like.

#### **[0002]**

**[Prior Art]** In recent years, further miniaturization has been sought in compact image-taking apparatuses such as video cameras and digital still cameras, and accordingly further miniaturization has been sought in taking lenses, and in particular in zoom lenses, as by reducing their total lengths.

**[0003]** In such taking lenses, in particular in those for digital still cameras, not only miniaturization has been sought, but also there has been increasing demand for zoom lenses covering a wide-angle range of about 70 to 80° at the wide-angle end. Simultaneously, higher lens performance has been sought to cope with image sensors having higher and higher resolutions.

#### **[0004]**

**[Problems to be Solved by the Invention]** An example of a compact zoom lens for a compact image-taking apparatus is a two-lens-group zoom lens of a retrofocus type composed of, from the object side, a first lens group having a negative refractive power and a second lens group having a positive refractive power. However, with a two-lens-group zoom lens like this, it is difficult to obtain a high zoom ratio, and its total length varies as zooming is performed. This makes the zoom lens unsuitable for a compact image-taking apparatus.

**[0005]** Another example is a four-lens-group zoom lens composed of, from the object side, a first lens group having a positive refractive power, a second lens group (variator) having a negative refractive power, a third lens group (compensator) having a positive refractive power, and a fourth lens group (master) having a positive refractive power. However, with a four-

lens-group zoom lens like this, its total length is great. This makes the zoom lens unsuitable for a compact image-taking apparatus.

[0006] Another example, disclosed in Japanese Patent Application Laid-Open No. H8-248318, is a four-lens-group zoom lens composed of, from the object side, a first lens group having a positive refractive power, a second lens group (variator) having a negative refractive power, a third lens group (compensator) having a positive refractive power, and a fourth lens group (master) having a positive refractive power, wherein a prism is disposed between the object-side lens element and the other lens elements of the first lens group so that the first group is subdivided into an object-side group having a negative refractive power and an image-plane-side group having a positive refractive power to form an afocal system and that the prism bends the optical path to reduce the front-to-rear length. However, this type of zoom lens includes many lens elements, and still has a great total length, and is expensive to manufacture.

[0007] An object of the present invention is to provide a compact zoom lens having a zoom ratio of about 3 which is suitable for a compact image-taking apparatus such as a video camera or digital still camera.

[0008]

**[Means for Solving the Problem]** To achieve the above object, according to the present invention, in a zoom lens provided with, from the object side to the image plane side, a first lens group having a positive refractive power, a second lens group having a negative refractive power, a third lens group having a positive refractive power, and a fourth lens group having a positive refractive power, the second and fourth lens groups being moved to achieve zooming, the first lens group is composed of, from the object side, a first lens element, which is a single lens element having a negative refractive power, a prism for bending the optical path, and a second lens element, which is a single lens element having a positive refractive power.

[0009] This makes it possible to miniaturize a zoom lens having a zoom ratio of about 3 which is suitable for a compact image-taking apparatus such as a video camera or digital still camera.

[0010]

**[Embodiments of the Invention]** Hereinafter, zoom lenses embodying the present invention will be described with reference to the accompanying drawings. Figs. 1 to 4 show a first embodiment (Numerical Example 1), Figs. 5 to 8 show a second embodiment (Numerical Example 2), and Figs. 9 to 12 show a third embodiment (Numerical Example 3).

[0011] First, the features common to all the embodiments will be described.

[0012] In the following descriptions, "Si" represents the i-th surface from the object side, "R<sub>i</sub>" represents the radius of curvature of the surface Si, "d<sub>i</sub>" represents the axial distance between the i-th and (i + 1)th surfaces from the object side, "ndLi" represents the refractive index for the d-line (with a wavelength of 587.6 nm) of the i-th lens element (Li), v<sub>d</sub>Li represents the Abbe number for the d-line of the i-th lens element (Li), "f" represents the focal length of the entire lens system, "Fno." represents the open-aperture f-number, and " $\omega$ " represents the half view angle. A symbol "nd" or "vd" suffixed with P, LP, IR, or CG represents the refractive index or Abbe number of a prism, a low-pass filter, an infrared cut filter, or the cover glass of an image sensor, respectively.

[0013] In all the embodiments, the lens elements used include aspherical lens surfaces.

[0014] The shape of an aspherical surface is defined by

$$x = (y^2 / r) / 1 + (1 - \kappa \cdot y^2 / r^2)^{1/2} + C4 \cdot y^4 + C6 \cdot y^6 + C8 \cdot y^8 + C10 \cdot y^{10}$$

where "x" represents the depth (the distance from the vertex of the lens surface along the optical axis) of the aspherical surface, "r" represents the radius of curvature at the lens vertex, and " $\kappa$ " represents the conic constant. C4, C6, C8, and C10 represent the aspherical surface coefficients of the forth, sixth, eighth, and tenth orders, respectively.

[0015] The zoom lenses 1, 2, and 3 of the first to third embodiments are all, as shown in Figs. 1, 5, and 9, composed of, from the object side to the image plane IMG side, a first lens group GR1 having a positive refractive power, a second lens group GR2 having a negative refractive power, a third lens group GR3 having a positive refractive power, and a fourth lens group GR4 having a positive refractive power. The zoom lenses 1, 2, and 3 all have a four-lens-group, nine-lens-element construction in which the first lens group GR1 is composed of two lens elements, namely a first lens element L1 and a second lens element L2, with a prism disposed between them, the second lens group GR2 is composed of three lens elements, namely a third lens element L3, a fourth lens element L4, and a fifth lens element L5, the third lens group GR3 is composed of a sixth lens element L6, and the fourth lens group GR4 is composed of three lens elements, namely a seventh lens element L7, an eighth lens element L8, and a ninth lens element L9.

[0016] Between the second and third lens groups GR2 and GR3, there is disposed an aperture stop ID. Between the fourth lens group GR4 and the image plane IMG, there are disposed, from the object side, a low-pass filter LP, an infrared cut filter IR, and the cover glass CG of a CCD.

[0017] Zooming is achieved by moving the second and fourth lens groups GR2 and GR4. As zooming is performed from the shortest-focal-length end (wide-angle end) to the longest-focal-length end (telephoto end), the second lens group GR2 moves from the object side to the image plane side, and the fourth lens group GR4 moves in such a way as to maintain the image position.

[0018] In the zoom lenses 1 to 3, focusing is achieved by moving the fourth lens group GR4.

[0019] The first lens group GR1 is composed of, from the object side, a first lens element L1, which is a meniscus-shaped single lens element having a negative refractive power, a prism P for bending the optical path at 90°, and a second lens element L2, which is a single lens element having a positive refractive power.

[0020] In the zoom lenses 1 to 3, it is preferable that conditional formulae 1 and 2 below be fulfilled, or alternatively that at least one of the surfaces of the first lens element L1 be an aspherical surface.

$$ndL1 > 1.75 \text{ (conditional formula 1)}$$

$$vdL1 < 30 \text{ (conditional formula 2)}$$

where  $ndL1$  represents the refractive index for the d-line of the first lens element L1, and  $vdL1$  represents the Abbe number for the d-line of the first lens element L1.

[0021] Conditional formula 1 defines the degree of distortion produced by the first lens element L1, which is provided in the first lens group GR1 having a positive refractive power and which itself has a negative refractive power. If the value of  $ndL1$  is outside the range defined by conditional formula 1, giving the first lens group GR1 the desired refractive power results in producing too large distortion to be corrected by the aspherical surface in the fourth lens group GR4.

[0022] Conditional formula 2 defines the degree of chromatic aberration produced by the first lens element L1, which is provided in the first lens group GR1 having a positive refractive power and which itself has a negative refractive power. If the value of  $vdL1$  is outside the range defined by conditional formula 2, the first lens group GR1 having a positive refractive power produces too large chromatic aberration to be corrected satisfactorily throughout the entire lens system.

[0023] In the zoom lenses 1 to 3, it is preferable that the object-side surface S1 of the first lens element L1 be convex to the object side. This is because, if this surface S1 is concave to the object side, it produces too large negative distortion to be corrected satisfactorily throughout the entire lens system.

[0024] In the zoom lenses 1 to 3, it is preferable that at least one of the surfaces of the lenses

constituting the fourth lens group GR4 be an aspherical surface, and it is particularly preferable that at least one of the surfaces of the lens element disposed at the image plane side end be an aspherical surface.

[0025] By making at least one of the lens surfaces within the fourth lens group GR4 aspherical in this way, it is possible to correct the negative distortion produced by the first lens group GR1 at the wide angle end. This makes it possible to give a strong power to the single lens element (first lens element) L1 that is provided in the first lens group GR1 and that has a negative refractive power. Thus, it is possible to obtain a wider angle of view.

[0026] In the zoom lenses 1 to 3, it is preferable that conditional formula 3 below be fulfilled.

$$4.5 < f_{GR1} / fw < 12 \text{ (conditional formula 3)}$$

where  $f_{GR1}$  represents the focal length of the first lens group GR1, and  $fw$  represents the focal length of the entire lens system at the wide-angle end.

[0027] Conditional formula 3 defines the ratio of the focal length of the first lens group GR1 having a positive refractive power to the focal length of the entire lens system. If the value of  $f_{GR1} / fw$  is equal to or smaller than 4.5, the first lens group GR1 has too strong a positive power. This either makes it necessary to give a strong power to the second lens element L2, i.e. the single lens element that is provided in the first lens group GR1 and that has a positive refractive power, and thus makes it impossible to correct spherical aberration with the single lens element L2, or makes it necessary to give a weak power to the first lens element, i.e. the single lens element having a negative refractive power, and thus makes it difficult to obtain a satisfactorily wide angle of view. By contrast, if the value of  $f_{GR1} / fw$  is equal to or greater than 12, the first lens group GR1 has too weak a positive power. This makes the total length of the zoom lenses 1 to 3 unduly great, and thus makes miniaturization difficult.

[0028] Next, the features unique to each of the zoom lenses 1 to 3 of the first to third embodiments will be described.

[0029] Table 1 shows the numerical data of the zoom lens 1. A surface of which the symbol  $Ri$  is followed by (ASP) is an aspherical surface (the same is true also in Tables 4 and 7 described later).

[0030]

[Table 1]

R1=35.110	d1=1.8	ndL1=1.85000	$\nu$ dL1=23.5
R2=16.675	d2=5.5		
R3=∞	d3=8.5	ndP=1.56883	$\nu$ dP=56.0
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56883	$\nu$ dP=56.0
R5=∞	d5=0.5		
R6=46.647	d6=2.8	ndL2=1.76811	$\nu$ dL2=49.7
R7=35.962	d7=variable		
R8=64.828	d8=1.1	ndL3=1.84000	$\nu$ dL3=49.0
R9=14.768	d9=1.1		
R10=140.620	d10=1.1	ndL4=1.75359	$\nu$ dL4=51.6
R11=8.969	d11=2.0	ndL5=1.84666	$\nu$ dL5=28.8
R12=33.296	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=9.334(ASP)	d14=2.0	ndL6=1.80610	$\nu$ dL6=40.7
R15=12.687	d15=variable		
R16=7.522	d16=3.0	ndL7=1.75955	$\nu$ dL7=50.8
R17=-46.255	d17=1.5	ndL8=1.84666	$\nu$ dL8=23.8
R18=8.997	d18=2.8	ndL9=1.89350	$\nu$ dL9=53.9
R19=24.197(ASP)	d19=variable		
R20=∞	d20=1.5	ndLP=1.55232	$\nu$ dLP=63.4
R21=∞	d21=1.2	ndIR=1.51680	$\nu$ dIR=64.2
R22=∞	d22=1.00		
R23=∞	d23=0.75	ndCG=1.55671	$\nu$ dCG=58.6
R24=∞	d24=1.0		
R25=∞			

[0031] As shown in Table 1 above, in the zoom lens 1, as zooming and focusing are performed, the axial distances d7, d12, d15, and d19 vary (i.e., these are variable axial distances). Therefore, Table 2 shows the values of d7, d12, d15, and d19 along with the values of Fno., f, and  $\omega$  as observed at each of the wide-angle end ( $f = 5.3$ ), the telephoto end ( $f = 15.6$ ), and the middle-focal-length position ( $f = 9.0$ ) between the wide-angle end and the telephoto end.

[0032]

[Table 2]

<b>f</b>	<b>5.3</b>	<b>9.0</b>	<b>15.5</b>
<b>fNo.</b>	<b>2.4</b>	<b>2.6</b>	<b>3.1</b>
<b>w</b>	<b>37.0°</b>	<b>24.0°</b>	<b>14.5°</b>
<b>d7</b>	<b>0.8</b>	<b>8.38</b>	<b>18.78</b>
<b>d12</b>	<b>15.01</b>	<b>7.45</b>	<b>2.05</b>
<b>d15</b>	<b>7.02</b>	<b>4.96</b>	<b>2.0</b>
<b>d19</b>	<b>4.82</b>	<b>6.88</b>	<b>9.84</b>

[0033] The object-side surface S14 of the sixth lens element L6 provided in the third lens group GR3 and the image-plane-side surface S19 of the ninth lens element L9 provided in the fourth lens group GR4 are aspherical surfaces. Table 3 below shows the aspherical surface coefficients C4, C6, C8, and C10 of the fourth, sixth, eighth, and tenth orders of those surfaces S14 and S19.

[0034]

[Table 3]

	<b><math>\kappa</math></b>	<b>C4</b>	<b>C6</b>	<b>C8</b>	<b>C10</b>
<b>S14(R14)</b>	<b>0</b>	<b>-0.9142E-04</b>	<b>0.3775E-05</b>	<b>-0.4906E-06</b>	<b>0.1590E-07</b>
<b>S19(R19)</b>	<b>0</b>	<b>0.1217E-02</b>	<b>0.2458E-04</b>	<b>0.1234E-05</b>	<b>0.1235E-07</b>

[0035] In Table 3 above, "E" denotes the exponential of 10 (the same is true also in Tables 7 and 11 described later).

[0036] Figs. 2 to 4 show diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed in the zoom lens 1 at the wide-angle end, at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end, and at the telephoto end, respectively. In the diagrams showing spherical aberration, the solid line represents the data observed for the e-line (having a wavelength of 546.1 nm), the dotted line (broken line with short strokes) the data observed for the C-line (having a wavelength of 656.3 nm), the dash-dot line the data observed for the d-line, the broken line the data observed for the F-line (having a wavelength of 486.1 nm), and the dash-dot-dot line the data observed for the g-line (having a wavelength of 435.8 nm). In the diagrams showing astigmatism, the solid line and the broken line represent the data observed on the sagittal and meridional image planes, respectively.

[0037] In the zoom lens 1 described above, the fourth lens group GR4 is built by cementing together three lens elements L7, L8, and L9. This helps reduce the inclination of the image plane resulting from decentering occurring within the fourth lens group GR4, and helps facilitate fabrication.

[0038] Table 4 shows the numerical data of the zoom lens 2.

[0039]

[Table 4]

R1=43.209	d1=2.0	ndL1=1.84666	v dL1=23.8
R2=16.054	d2=4.0		
R3=∞	d3=0.5	ndP=1.56883	v dP=56.0
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56883	v dP=56.0
R5=∞	d5=0.5		
R6=40.672	d6=2.3	ndL2=1.83500	v dL2=43.0
R7=40.672	d7=variable		
R8=-130.120	d8=1.1	ndL3=1.83500	v dL3=43.0
R9=11.900	d9=1.29		
R10=∞	d10=1.0	ndL4=1.75359	v dL4=51.6
R11=7.755	d11=2.2	ndL5=1.84666	v dL5=23.8
R12=31.164	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=8.845(ASP)	d14=1.5	ndL6=1.69850	v dL6=53.3
R15=18.742	d15=variable		
R16=9.000	d16=2.5	ndL7=1.69850	v dL7=53.3
R17=9.050	d17=1.0	ndL8=1.84666	v dL8=23.8
R18=-104.181	d18=4.75		
R19=35.000(ASP)	d19=1.0	ndL9=1.49200	v dL9=57.2
R20=24.197(ASP)	d20=variable		
R21=∞	d21=1.5	ndLP=1.55202	v dLP=63.4
R22=∞	d22=1.2	ndLR=1.51680	v dLR=64.2
R23=∞	d23=1.0		
R24=∞	d24=0.75	ndCG=1.55671	v dCG=58.6
R25=∞	d25=1.0		
R26=∞			

[0040] As shown in Table 4 above, in the zoom lens 2, as zooming and focusing are performed, the axial distances d7, d12, d15, and d20 vary (i.e., these are variable axial distances). Therefore, Table 5 shows the values of d7, d12, d15, and d20 along with the values of Fno., f, and ω as observed at each of the wide-angle end ( $f = 5.3$ ), the telephoto end ( $f = 15.5$ ), and the middle-focal-length position ( $f = 9.0$ ) between the wide-angle end and the telephoto end.

[0041]

[Table 5]

<b>f</b>	<b>5.3</b>	<b>9.0</b>	<b>15.5</b>
<b>fNo.</b>	<b>2.8</b>	<b>3.1</b>	<b>3.8</b>
<b><math>\omega</math></b>	<b>87.0°</b>	<b>84.0°</b>	<b>14.5°</b>
<b>d7</b>	<b>0.8</b>	<b>7.17</b>	<b>11.4</b>
<b>d12</b>	<b>12.65</b>	<b>8.28</b>	<b>2.05</b>
<b>d15</b>	<b>8.09</b>	<b>8.09</b>	<b>2.0</b>
<b>d20</b>	<b>8.67</b>	<b>6.57</b>	<b>10.68</b>

[0042] The object-side surface S14 of the sixth lens element L6 provided in the third lens group GR3 and the object-side and image-plane-side surfaces S19 and S20 of the ninth lens element L9 provided in the fourth lens group GR4 are aspherical surfaces. Table 6 below shows the aspherical surface coefficients C4, C6, C8, and C10 of the fourth, sixth, eighth, and tenth orders of those surfaces S14, S19, and S20.

[0043]

[Table 6]

	<b><math>\kappa</math></b>	<b>C4</b>	<b>C6</b>	<b>C8</b>	<b>C10</b>
<b>S14(R14)</b>	<b>0</b>	<b>-0.1224E-03</b>	<b>0.9870E-05</b>	<b>-0.1144E-05</b>	<b>0.4871E-07</b>
<b>S19(R19)</b>	<b>0</b>	<b>-0.9497E-03</b>	<b>0.3720E-04</b>	<b>-0.6771E-05</b>	<b>0.3284E-06</b>
<b>S20(R20)</b>	<b>0</b>	<b>-0.5412E-04</b>	<b>0.7292E-04</b>	<b>-0.8809E-05</b>	<b>0.4589E-06</b>

[0044] Figs. 6 to 8 show diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed in the zoom lens 2 at the wide-angle end, at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end, and at the telephoto end, respectively. In the diagrams showing spherical aberration, the solid line represents the data observed for the e-line, the dotted line the data observed for the C-line, the dash-dot line the data observed for the d-line, the broken line the data observed for the F-line, and the dash-dot-dot line the data observed for the g-line. In the diagrams showing astigmatism, the solid line and the broken line represent the data observed on the sagittal and meridional image planes, respectively.

[0045] In the zoom lens 2, an aspherical-surface lens element made of plastic is used as the ninth lens element L9 provided in the fourth lens group GR4. This helps achieve miniaturization and high performance, and helps realize a zoom lens that is inexpensive to manufacture.

[0046] Table 7 shows the numerical data of the zoom lens 3.

[0047]

[Table 7]

R1=35.641	d1=1.8	ndL1=1.85000	$\nu$ dL1=23.5
R2=16.216(ASP)	d2=5.5		
R3=∞	d3=9.5	ndP=1.56883	$\nu$ dP=56.0
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56883	$\nu$ dP=56.0
R5=∞	d5=0.5		
R6=32.206	d6=2.8	ndL2=1.76856	$\nu$ dL2=49.9
R7=-58.283	d7=variable		
R8=-58.723	d8=1.1	ndL3=1.84000	$\nu$ dL3=43.0
R9=17.458	d9=1.1		
R10=∞	d10=1.0	ndL4=1.84000	$\nu$ dL4=43.0
R11=7.883	d11=2.0	ndL5=1.83916	$\nu$ dL5=23.8
R12=43.420	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=18.484(ASP)	d14=2.0	ndL6=1.80610	$\nu$ dL6=40.7
R15=15.006	d15=variable		
R16=7.899	d16=3.0	ndL7=1.79554	$\nu$ dL7=48.8
R17=-33.011	d17=1.5	ndL8=1.80688	$\nu$ dL8=25.6
R18=5.097	d18=3.3	ndL9=1.69350	$\nu$ dL9=53.3
R19=22.065(ASP)	d19=variable		
R20=∞	d20=1.5	ndLP=1.55282	$\nu$ dLP=62.4
R21=∞	d21=1.2	ndLR=1.51680	$\nu$ dIR=64.2
R22=∞	d22=1.0		
R23=∞	d23=0.75	ndOC=1.55671	$\nu$ dOC=58.6
R24=∞	d24=1.0		
R25=∞			

[0048] As shown in Table 7 above, in the zoom lens 3, as zooming and focusing are performed, the axial distances d7, d12, d15, and d19 vary (i.e., these are variable axial distances). Therefore, Table 8 shows the values of d7, d12, d15, and d19 along with the values of Fno., f, and  $\omega$  as observed at each of the wide-angle end ( $f = 5.3$ ), the telephoto end ( $f = 15.5$ ), and the middle-focal-length position ( $f = 9.0$ ) between the wide-angle end and the telephoto end.

[0049]

[Table 8]

f	5.3	9.0	15.5
FNo.	2.4	2.6	3.1
$\omega$	37.0°	24.0°	14.5°
d7	0.8	8.06	13.2
d12	14.41	7.12	2.0
d15	7.28	5.11	2.0
d19	5.19	7.34	10.45

[0050] The image-plane-side surface S2 of the first lens element L1 provided in the first lens group, the object-side surface S14 of the sixth lens element L6 provided in the third lens group GR3, and the image-plane-side surface S19 of the ninth lens element L9 provided in the fourth lens group GR4 are aspherical surfaces. Table 3 below shows the aspherical surface coefficients C4, C6, C8, and C10 of the fourth, sixth, eighth, and tenth orders of those surfaces S2, S14, and S19.

[0051]

[Table 9]

	$\kappa$	C4	C6	C8	C10
S2(R2)	0	-0.4475E-05	0.2083E-07	-0.8289E-10	-0.7920E-12
S14(R14)	0	-0.6561E-04	0.1709E-05	-0.1885E-06	0.6981E-08
S19(R19)	0	0.1058E-02	0.2442E-04	0.4797E-06	0.3475E-07

[0052] In the zoom lens 3, as described above, an aspherical surface is used as the image-plane-side surface L2 of the first lens element L1 provided in the first lens group GR1. This helps correct curvature of field and the spherical aberration appearing in the long-focal-length range.

[0053] Figs. 10 to 12 show diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed in the zoom lens 3 at the wide-angle end, at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end, and at the telephoto end, respectively. In the diagrams showing spherical aberration, the solid line represents the data observed for the e-line, the dotted line the data observed for the C-line, the dash-dot line the data observed for the d-line, the broken line the data observed for the F-line, and the dash-dot-dot line the data observed for the g-line. In the diagrams showing astigmatism, the solid line and the broken line represent the data observed on the sagittal and meridional image planes, respectively.

[0054] In the zoom lens 3 described above, as in the zoom lens 1 of the first embodiment, the fourth lens group GR4 is built by cementing together three lens elements L7, L8, and L9. This helps reduce the inclination of the image plane resulting from decentering occurring within the fourth lens group GR4, and helps facilitate fabrication.

[0055] Table 10 below shows the values necessary to calculate the conditions 1 to 3 and the values of the conditional formulae themselves as actually observed in each of the zoom lenses 1 to 3 of the first to third embodiments.

[0056]

[Table 10]

EMBODIMENT	$n_{dL1}$	$v_{dL1}$	$f_{GRI}$	$f_w$	$f_{GRI}/f_w$
1	1.85000	23.5	38.29	5.9	6.39
2	1.84888	23.8	32.99	5.8	5.62
3	1.85000	23.5	38.94	5.8	6.87

[0057] As will be clear from Table 10 above, the zoom lenses 1 to 3 all fulfill the conditions defined by conditional formulae 1 to 3. Moreover, as will be seen from the aberration diagrams, in the zoom lenses 1 to 3, various aberrations are corrected with a proper balance at the wide-angle end, at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end, and at the telephoto end.

[0058] As described above, the zoom lenses 1 to 3 all have an angle of view of 74° at the wide-angle end, thus covering a sufficiently wide-angle region, and have various aberrations corrected properly. This makes the zoom lenses 1 to 3 suitable for digital still cameras provided with a high-resolution image sensor.

[0059] It is to be understood that the shapes and structures of the details specifically presented in the embodiments described above are mere examples of how the present invention is carried out, and thus are not to be regarded as limiting the technical scope of the invention in any way.

[0060]

**[Advantages of the Invention]** As will be clear from what has been described hereinbefore, according to the present invention, in a zoom lens provided with, from the object side to the image plane side, a first lens group having a positive refractive power, a second lens group having a negative refractive power, a third lens group having a positive refractive power, and a fourth lens group having a positive refractive power, the second and fourth lens groups being moved to achieve zooming, the first lens group is composed of, from the object side, a first lens element, which is a single lens element having a negative refractive power, a prism for bending the optical path, and a second lens element, which is a single lens element having a positive refractive power. This makes it possible to miniaturize a zoom lens having a zoom ratio of about 3 which is suitable for a compact image-taking apparatus such as a video camera or digital still camera.

[0061] In the zoom lens recited in claim 2, let  $n_{dL1}$  be the refractive index for the d-line of the first lens element, and let  $v_{dL1}$  be the Abbe number for the d-line of the first lens element, then the conditions  $n_{dL1} > 1.75$  and  $v_{dL1} < 30$  are fulfilled. This makes it possible to properly correct the distortion and chromatic aberration produced by the first lens group.

[0062] In the zoom lens recited in claim 3, at least one of the surfaces of the first lens element is an aspherical surface. This makes it possible to properly correct curvature of field and the spherical aberration appearing in a long-focal-length region.

[0063] In the zoom lenses recited in claims 4 to 6, the surface of the first lens element facing the object side is a convex surface. This helps prevent negative distortion, which is difficult to correct through the entire lens system, from becoming unduly large.

[0064] In the zoom lenses recited in claims 7 to 12, at least one of the surfaces of the lens elements constituting the fourth lens group is an aspherical surface. This makes it possible to effectively correct the negative distortion produced by the first lens group at the wide-angle end. As a result, it is possible to give a strong power to the negative single lens element provided in the first lens group, and thereby obtain a wider angle of view.

[0065] In the zoom lenses recited in claims 13 to 24, let  $f_{GRI}$  be the focal length of the first lens group, and let  $f_w$  be the focal length of the entire lens system at the wide-angle end, then the condition  $4.5 < f_{GRI} / f_w < 12$  is fulfilled. This makes it possible to achieve proper correction of spherical aberration, a satisfactorily wide angle of view, and satisfactory miniaturization.

#### **[Brief Description of the Drawings]**

**[Fig. 1]** A diagram showing, together with Figs. 2 to 4, the zoom lens of a first embodiment of the invention, schematically showing the lens construction.

**[Fig. 2]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the wide-angle end.

**[Fig. 3]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end.

**[Fig. 4]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the telephoto end.

**[Fig. 5]** A diagram showing, together with Figs. 6 to 8, the zoom lens of a second embodiment of the invention, schematically showing the lens construction.

**[Fig. 6]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the wide-angle end.

**[Fig. 7]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end.

**[Fig. 8]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the telephoto end.

**[Fig. 9]** A diagram showing, together with Figs. 10 to 12, the zoom lens of a third embodiment of the invention, schematically showing the lens construction.

**[Fig. 10]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the wide-angle end.

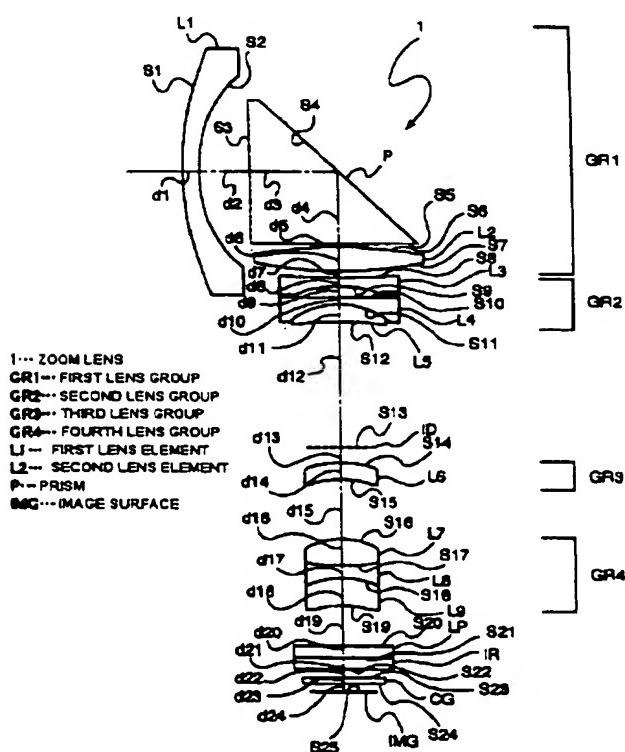
**[Fig. 11]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the middle-focal-length position between the wide-angle end and the telephoto end.

**[Fig. 12]** Diagrams showing the spherical aberration, astigmatism, and distortion observed at the telephoto end.

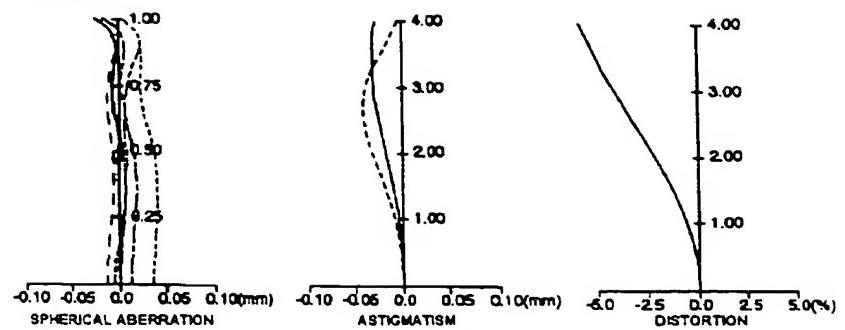
#### **[Description of the Reference Designations]**

1: zoom lens, 2: zoom lens, 3: zoom lens, GR1: first lens group, GR2: second lens group, GR3: third lens group, GR4: fourth lens group, L1: first lens element, L2: second lens element, P: prism, and IMG: image plane.

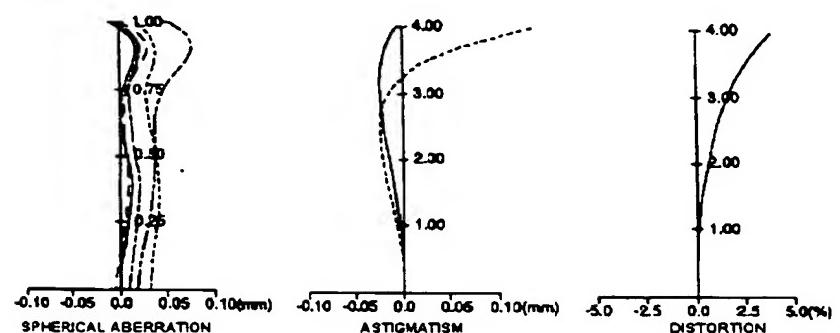
**[Fig. 1]**



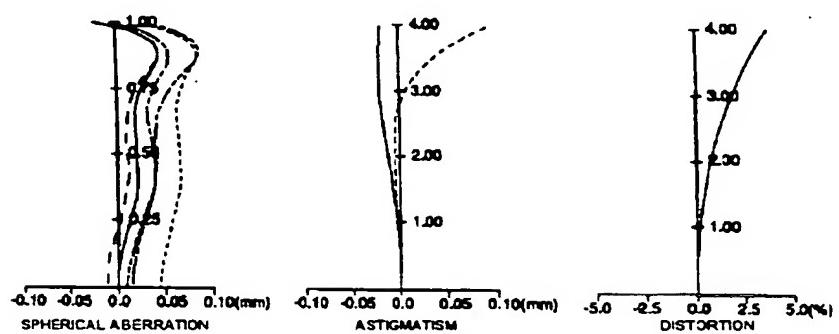
[Fig. 2]



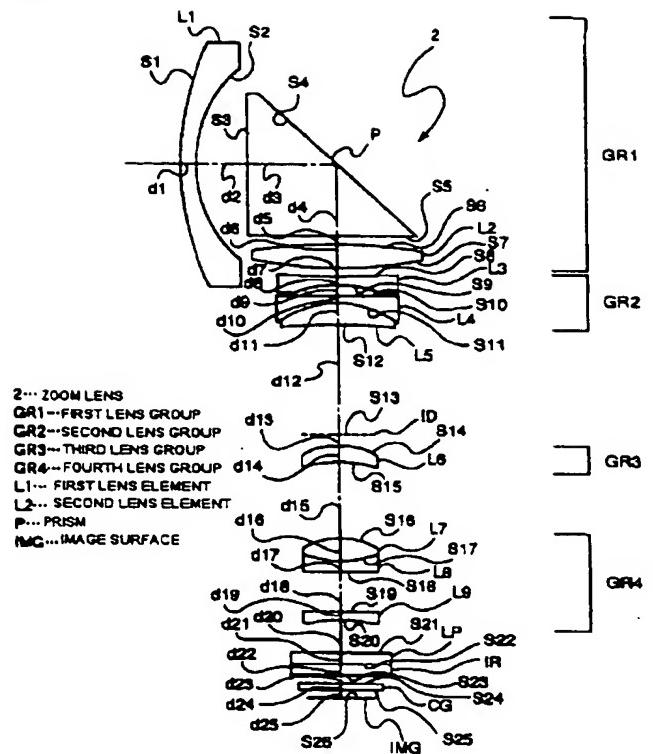
[Fig. 3]



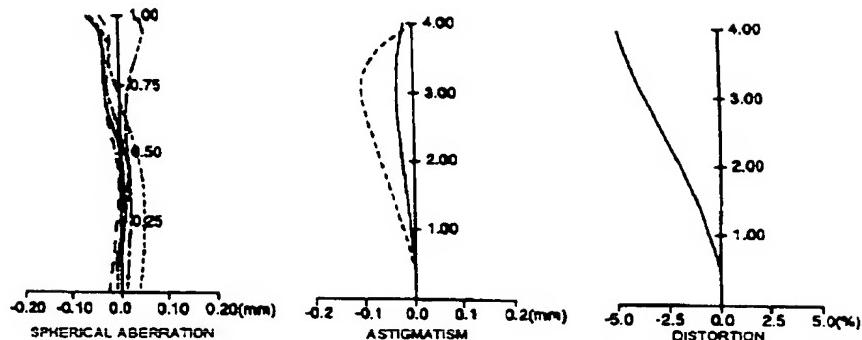
[Fig. 4]



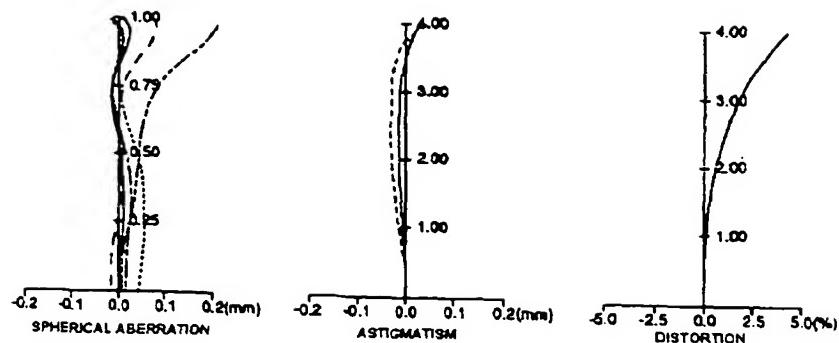
[Fig. 5]



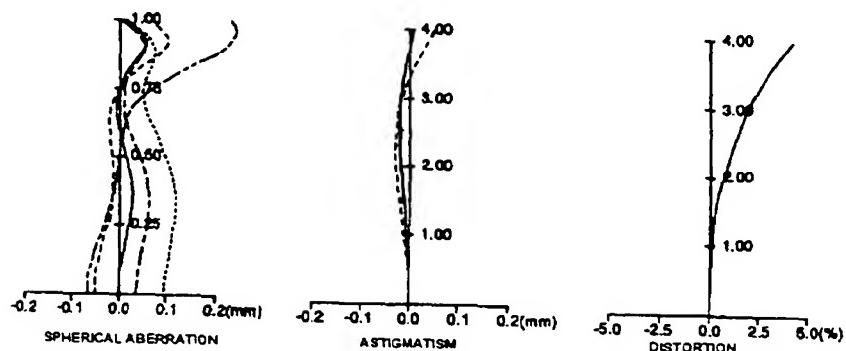
[Fig. 6]



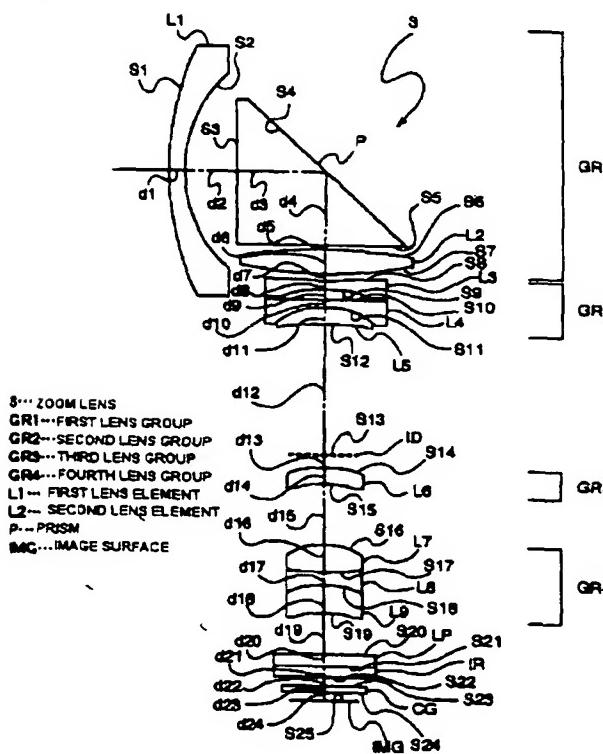
[Fig. 7]



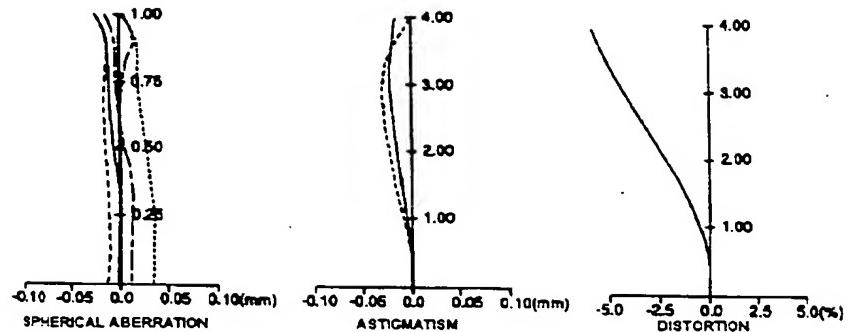
[Fig. 8]



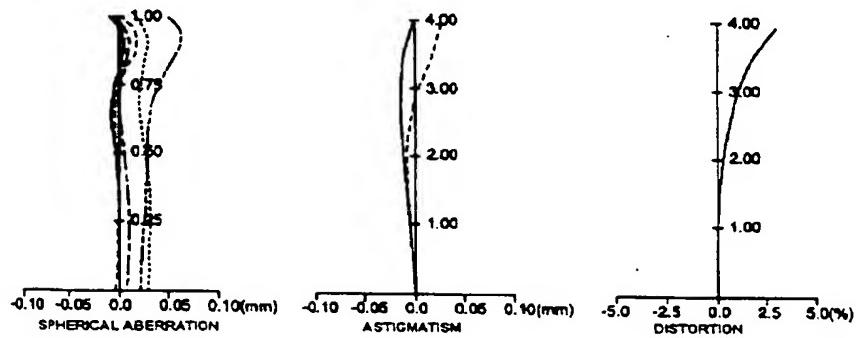
[Fig. 9]



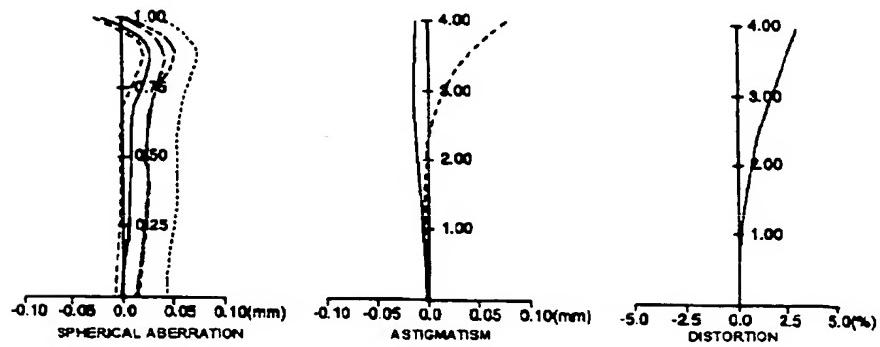
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



Continuation from the front page.

F Term (for reference)      2H087 . . . [omitted]

(19) 日本国特許庁(JP)

# (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-131610

(P2000-131610A)

(43) 公開日 平成12年5月12日(2000.5.12)

(51) Int. C1.<sup>7</sup>

G 02 B 15/16  
13/18

識別記号

F I

G 02 B 15/16  
13/18

テマコード\*(参考)

2H087

審査請求 未請求 請求項の数 24

O L

(全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平10-307337

(22) 出願日

平成10年10月28日(1998.10.28)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 末吉 正史

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー  
株式会社内

(74) 代理人 100069051

弁理士 小松 祐治

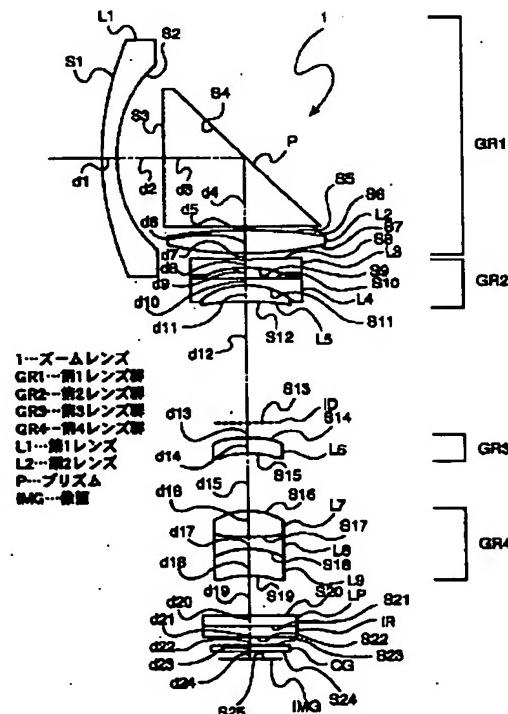
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ズームレンズ

(57) 【要約】

【課題】 ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の小型の撮像機器に最適な変倍比3倍程度の小型のズームレンズを提供する。

【解決手段】 物体側から像面IMG側へと順に、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1と、負の屈折力を有する第2レンズ群GR2と、正の屈折力を有する第3レンズ群GR3と、正の屈折力を有する第4レンズ群GR4とから成り、第2レンズ群と第4レンズ群とを移動させることによりズーミングを行うようにしたズームレンズにおいて、第1レンズ群を物体側から順に、負の屈折力を有する単レンズの第1レンズL1、光路を折り曲げるプリズムP、正の屈折力を有する単レンズの第2レンズL2によって構成した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体側から像面側へと順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、  
負の屈折力を有する第2レンズ群と、  
正の屈折力を有する第3レンズ群と、  
正の屈折力を有する第4レンズ群とから成り、  
上記第2レンズ群と第4レンズ群とを移動させることによりズーミングを行うようにされたズームレンズにおいて、  
上記第1レンズ群が物体側から順に、負の屈折力を有する単レンズの第1レンズ、光路を折り曲げるプリズム、  
正の屈折力を有する単レンズの第2レンズによって構成されたことを特徴とするズームレンズ。

【請求項2】 以下の条件を満足するようにしたことを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

$$n_d L_1 > 1.75$$

$$v_d L_1 < 3.0$$

但し、

$$n_d L_1 : \text{第1レンズの} d \text{線での屈折率},$$

$$v_d L_1 : \text{第1レンズの} d \text{線でのアッペ数},$$

【請求項3】 第1レンズの少なくとも1の面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

【請求項4】 第1レンズの物体側を向いた面を凸面としたことを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

【請求項5】 第1レンズの物体側を向いた面を凸面としたことを特徴とする請求項2に記載のズームレンズ。

【請求項6】 第1レンズの物体側を向いた面を凸面としたことを特徴とする請求項3に記載のズームレンズ。

【請求項7】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

【請求項8】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項2に記載のズームレンズ。

【請求項9】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項3に記載のズームレンズ。

【請求項10】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項4に記載のズームレンズ。

【請求項11】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項5に記載のズームレンズ。

【請求項12】 第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したことを特徴とする請求項6に記載のズームレンズ。

【請求項13】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項1に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項14】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項2に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項15】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項3に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項16】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項4に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項17】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項5に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項18】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項6に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項19】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項7に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$$f_{GR1} : \text{第1レンズ群の焦点距離},$$

$$f_w : \text{レンズ全系のワイド端での焦点距離},$$

とする。

【請求項20】 以下の条件を満足することを特徴とする請求項8に記載したズームレンズ。

$$4.5 < f_{GR1} / f_w < 1.2$$

但し、

$f_{GR1}$  : 第1レンズ群の焦点距離、  
 $f_w$  : レンズ全系のワイド端での焦点距離、  
 とする。

【請求項21】以下の条件を満足することを特徴とする請求項9に記載したズームレンズ。

$$4. \ 5 < f_{GR1} / f_w < 12$$

但し、

$f_{GR1}$  : 第1レンズ群の焦点距離、  
 $f_w$  : レンズ全系のワイド端での焦点距離、  
 とする。

【請求項22】以下の条件を満足することを特徴とする請求項10に記載したズームレンズ。

$$4. \ 5 < f_{GR1} / f_w < 12$$

但し、

$f_{GR1}$  : 第1レンズ群の焦点距離、  
 $f_w$  : レンズ全系のワイド端での焦点距離、  
 とする。

【請求項23】以下の条件を満足することを特徴とする請求項11に記載したズームレンズ。

$$4. \ 5 < f_{GR1} / f_w < 12$$

但し、

$f_{GR1}$  : 第1レンズ群の焦点距離、  
 $f_w$  : レンズ全系のワイド端での焦点距離、  
 とする。

【請求項24】以下の条件を満足することを特徴とする請求項12に記載したズームレンズ。

$$4. \ 5 < f_{GR1} / f_w < 12$$

但し、

$f_{GR1}$  : 第1レンズ群の焦点距離、  
 $f_w$  : レンズ全系のワイド端での焦点距離、  
 とする。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、小型のビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等に最適な、変倍比3倍程度のズームレンズに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の小型撮像装置にあっては、より一層の小型化が求められており、これに伴って、撮影用レンズ、特に、ズームレンズは全長の短縮等による小型化が求められている。

【0003】また、上記撮影用レンズ、特に、デジタルスチルカメラ用のものにあっては、小型化と共に、広角端での画角が70~80°程度の広角域を含むズームレンズに対する要求が高まっており、同時に、撮像素子の高画素化に対応してレンズ性能の向上も求められている。

##### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】小型撮像装置用の小型のズームレンズとしては、物体側から順に、負の屈折率を有する第1レンズ群と、正の屈折力を有する第2レンズ群とから成るレトロフォーカスタイプの2群構成のズームレンズがある。しかし、このような2群構成のズームレンズにあっては、変倍比を大きくすることが難しく、また、ズーミング動作に伴って全長も変化するので小型の撮像機器用としては不適格である。

【0005】また、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群(バリエータ)と、正の屈折力を有する第3レンズ群(コンペンセータ)と、正の屈折力を有する第4レンズ群(マスター)とから成る4群構成のズームレンズがある。しかし、このような4群構成のズームレンズは、全長が長くなってしまうため、小型の撮像機器用としては不適格である。

【0006】更に、特開平8-248318号公報に記載されたズームレンズ、即ち、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群(バリエータ)と、正の屈折力を有する第3レンズ群(コンペンセータ)と、正の屈折力を有する第4レンズ群(マスター)とから成る4群構成のズームレンズのように、第1レンズ群の物体側の位置のレンズとレンズとの間にプリズムを配置し、第1レンズ群をプリズムを間に挟んで、物体側に負、像面側に正の屈折力を有するレンズ群に分割してアフォーカル系を構成すると共に、プリズムによって光路を折り曲げることによって前後長を短縮するようにしたものもあるが、このタイプのズームレンズは、レンズの構成枚数が多く、しかも依然として全長も長く、製造コストも高くなってしまうという問題点があった。

【0007】本発明は、上記問題点に鑑み、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の小型の撮像機器に最適な変倍比3倍程度の小型のズームレンズを提供することを課題とする。

##### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明ズームレンズは、物体側から像面側へと順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とから成り、上記第2レンズ群と第4レンズ群とを移動させることによりズーミングを行うようにしたズームレンズにおいて、第1レンズ群を物体側から順に、負の屈折力を有する単レンズの第1レンズ、光路を折り曲げるプリズム、正の屈折力を有する単レンズの第2レンズによって構成したものである。

【0009】従って、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の小型の撮像機器に最適な変倍比3倍程度のズームレンズを小型化することが可能になる。

## 【0010】

【発明の実施の形態】以下に、本発明ズームレンズの実施の形態について、添付図面を参照して説明する。尚、図1乃至図4は第1の実施の形態（数値実施例1）、図5乃至図8は第2の実施の形態（数値実施例2）、図9乃至図12は第3の実施の形態（数値実施例3）をそれぞれ示すものである。

【0011】初めに、各実施の形態における共通の事項について説明する。

【0012】尚、以下の説明において、「S<sub>i</sub>」は物体側から数えてi番目の面、「R<sub>i</sub>」は上記面S<sub>i</sub>の曲率半径、「d<sub>i</sub>」物体側からi番目の面とi+1番目の面との間の面間隔、「n<sub>dL i</sub>」は第iレンズ(L<sub>i</sub>)のd線(波長587.6nm)での屈折率、「v<sub>dL i</sub>」は第iレンズ(L<sub>i</sub>)のd線でのアッペ数、「f」はレンズ全系の焦点距離、「Fno.」は開放F値、「ω」半画角を示すものとする。但し、n<sub>d</sub>又はv<sub>d</sub>の後にP、LP、IR及びCGが付加されたものは、それぞれプリズム、ローパスフィルタ、赤外カットフィルタ及び撮像素子のカバーガラスの屈折率又はアッペ数を示すものとする。

【0013】また、各実施の形態において用いられるレンズには、レンズ面が非球面によって構成されるものも含まれる。

【0014】非球面形状は、非球面の深さ（レンズ面の頂点からの光軸方向の距離）を「x」、レンズ頂点での曲率半径を「r」、円錐定数を「κ」とすると、

$$x = (y^2/r) / 1 + (1 - \kappa \cdot y^2/r^2)^{1/2} + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10}$$

によって定義されるものとする。尚、C<sub>4</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>8</sub>及びC<sub>10</sub>は、それぞれ4次、6次、8次及び10次の非球面係数である。

【0015】第1乃至第3の実施例におけるズームレンズ1、2及び3は、図1、図5及び図9に示すように、物体側から像面IMG側へと順に、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1と、負の屈折力を有する第2レンズ群GR2と、正の屈折力を有する第3レンズ群GR3と、正の屈折力を有する第4レンズ群GR4とから成る。ズームレンズ1乃至3は、第1レンズ群GR1は第1レンズL1及び第2レンズL2から成る2枚のレンズとその間に配置されたプリズム、第2レンズ群GR2は第3レンズL3、第4レンズL4及び第5レンズL5から成る3枚のレンズ、第3レンズ群GR3は第6レンズL6、そして、第4レンズ群GR4は第7レンズL7、第8レンズL8及び第9レンズL9から成る3枚のレンズをそれぞれ有する4群9枚構成のものである。

【0016】また、第2レンズ群GR2と第3レンズ群GR3との間には絞りIDが、第4レンズ群GR4と像面IMGとの間には物体側から順に、ローパスフィルタLP、赤外カットフィルタIR及びCCDのカバーガラ

スCGが配置されている。

【0017】そして、上記第2レンズ群GR2と第4レンズ群GR4とを移動させることによりズーミングを行うようにしたものであり、短焦点距離端（広角端）から長焦点距離端（望遠端）にズーミングするときには、第2レンズ銀GR2は物体側から像面側に、第4レンズ群GR4は像位置を保持するように移動するものである。

【0018】尚、ズームレンズ1乃至3のフォーカス調整は、第4レンズ群GR4を移動させることによって為される。

【0019】第1レンズ群GR1は、物体側から順に、負の屈折力を有するメニスカス形状の単レンズの第1レンズL1、光路を90°折り曲げるプリズムP、正の屈折力を有する単レンズの第2レンズL2によって構成したものである。

【0020】ズームレンズ1乃至3は、以下の条件式1及び条件式2を満足するか、または、部第1レンズL1の各面のうち、少なくとも1つの面が非球面によって構成することが好ましい。

20 n<sub>dL 1</sub> > 1.75 (条件式1)

v<sub>dL 1</sub> < 30 (条件式2)

但し、n<sub>dL 1</sub>は第1レンズL1のd線での屈折率であり、v<sub>dL 1</sub>は第1レンズL1のd線でのアッペ数である。

【0021】条件式1は、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1を構成する負の屈折力を有する単レンズである第1レンズL1による歪曲収差の発生量を規定するためのものである。即ち、n<sub>dL 1</sub>の値が条件式1によって規定される範囲外となると、必要とされる第1レンズ群GR1の屈折力に対して歪曲収差の発生量が大きくなってしまい、これを第4レンズ群GR4の非球面によって補正することができなくなってしまう。

【0022】条件式2は、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1を構成する負の屈折力を有する単レンズである第1レンズによるL1による色収差の発生量を規定するためのものである。即ち、v<sub>dL 1</sub>の値が条件式2によって規定される範囲外となると、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1内での色収差の発生量が大きくなり、これを補正することはレンズ系全体でも困難となる。

【0023】また、ズームレンズ1乃至3の第1レンズL1の物体側の面S1は、物体側に向けて凸であることが好ましい。これは、上記面S1が物体側に向けて凹であると、該凹面S1で発生する負の歪曲収差が大きくなり、これをレンズ全系で補正することが困難となるからである。

【0024】ズームレンズ1乃至3の第4レンズ群GR4を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1つの面が非球面によって構成されること、特に、最も像面側に位置するレンズの少なくとも1つの面が非球面によって

構成されていることが望ましい。

【0025】このように、第4レンズ群GR4内のレンズ面のうち、少なくとも1つの面を非球面によって構成すると、第1レンズ群GR1によって発生する広角端における負の歪曲収差を補正することができるようになり、これによって、第1レンズ群GR1の負の屈折力を有する単レンズ（第1レンズ）L1のパワーを強くすることができるようになって、より広い画角を得ることができるようになる。

【0026】更に、ズームレンズ1乃至3は、以下の条件式3を満足するように構成することが好ましい。

$$4.5 < f_{GR1}/f_w < 12 \quad (\text{条件式3})$$

但し、 $f_{GR1}$ は第1レンズ群GR1の焦点距離であり、 $f_w$ はレンズ全系の広角端での焦点距離である。

【0027】条件式3は、正の屈折力を有する第1レンズ群GR1の焦点距離とレンズ全系の焦点距離との比率を規定するものである。即ち、 $f_{GR1}/f_w$ の値が4.

5以下となると、第1レンズ群GR1の正のパワーが強\*

\*くなり過ぎて、第1レンズ群GR1内の正の屈折力を有する単レンズである第2レンズL2パワーが大きくなつて、この単レンズL2では球面収差の補正ができなくなるか、又は、負の屈折力を有する単レンズである第1レンズのパワーが弱くなってしまって、十分な広画角化が困難になつてしまふ。また、 $f_{GR1}/f_w$ の値が12以上になると、第1レンズ群GR1の正のパワーが弱くなり過ぎて、ズームレンズ1乃至3の全長が長くなつてしまい、小型化が困難となる。

【0028】次に、第1乃至第3の実施例に係わるズームレンズ1乃至3の固有の事項について説明する。

【0029】表1にズームレンズ1の各数値を示す。

尚、Riの数値の後に（ASP）を付記した面は非球面によって構成されたものである（後述する表4及び表7も同様。）。

【0030】

【表1】

R1=35.116	d1=1.8	ndL1=1.85000	$\nu dL1=29.5$
R2=16.675	d2=5.5		
R3=∞	d3=9.5	ndP=1.56883	$\nu dP=56.0$
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56889	$\nu dP=56.0$
R5=∞	d5=0.5		
R6=46.647	d6=2.8	ndL2=1.70811	$\nu dL2=49.7$
R7=-38.962	d7=variable		
R8=-84.828	d8=1.1	ndL3=1.84000	$\nu dL3=49.0$
R9=14.768	d9=1.1		
R10=140.620	d10=1.1	ndL4=1.75359	$\nu dL4=51.6$
R11=3.959	d11=2.0	ndL5=1.84866	$\nu dL5=29.8$
R12=33.295	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=9.334(ASP)	d14=2.0	ndL6=1.80610	$\nu dL6=40.7$
R15=12.687	d15=variable		
R16=7.522	d16=3.0	ndL7=1.75955	$\nu dL7=50.8$
R17=-49.255	d17=1.5	ndL8=1.84666	$\nu dL8=29.8$
R18=8.007	d18=2.8	ndL9=1.69350	$\nu dL9=59.3$
R19=24.197(ASP)	d19=variable		
R20=∞	d20=1.5	ndL10=1.55292	$\nu dL10=63.4$
R21=∞	d21=1.2	ndL11=1.51680	$\nu dL11=64.2$
R22=∞	d22=1.00		
R23=∞	d23=0.75	ndCG=1.55671	$\nu dCG=58.6$
R24=∞	d24=1.0		
R25=∞			

【0031】上記表1に示すように、ズームレンズ1のズーミング及びフォーカシング動作に伴つて面間隔d

7、d12、d15及びd19は可変(variable)である。従つて、表2に広角端( $f = 5, 3$ )、望遠端( $f = 15, 6$ )及び広角端と望遠端との中間焦点位置( $f = 9, 0$ )におけるd7、d12、d15及びd19の各数値、並びに、FNo.、f及び $\omega$ を示す。

【0032】

【表2】

$f$	5.9	9.0	15.5
FNo.	2.4	2.6	3.1
$\omega$	37.0°	24.0°	14.5°
d7	0.8	8.36	18.76
d12	15.01	7.45	2.05
d15	7.02	4.96	2.0
d19	4.82	6.88	9.84

\* 【0033】また、第3レンズ群GR3の第6レンズL6の物体側の面S14及び第4レンズ群GR4の第9レンズL9の像面側の面S19は非球面によって構成されている。以下の表3に上記面S14及びS19の4次、6次、8次及び10次の非球面係数C4、C6、C8及びC10を示す。

【0034】

【表3】

\*

	$\kappa$	C4	C6	C8	C10
S14(R14)	0	-0.9142E-04	0.9775E-05	-0.4908E-06	0.1590E-07
S19(R19)	0	0.1217E-02	0.2458E-04	0.1286E-05	0.1235E-07

【0035】尚、上記表3中の「E」は、10を底とする指数表現を意味するものとする。(後述する表7及び表11においても同様。)。

【0036】図2乃至図4にズームレンズ1の広角端、広角端と望遠端との中間焦点位置及び望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図をそれぞれ示す。尚、球面収差図において、実線はe線(波長546.1nm)、点線(ピッチの短い方の破線)はC線(波長656.3nm)、一点鎖線はd線、破線はF線(波長486.1nm)、二点鎖線はg線(波長435.8nm)における値を示すものであり、非点収差図

において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面における値を示すものである。

【0037】上記ズームレンズ1においては、第4レンズ群GR4を3枚のレンズL7、L8及びL9の接合レンズによって構成することにより、第4レンズ群GR4内の偏心による像面の倒れを小さくし、製造をも容易にするようにしたものである。

30 【0038】表4にズームレンズ2の各数値を示す。

【0039】

【表4】

R1=49.203	d1=2.0	ndL1=1.84666	ν dL1=23.8
R2=16.054	d2=4.0		
R3=∞	d3=0.5	ndP=1.56883	ν dP=56.0
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56883	ν dP=56.0
R5=∞	d5=0.5		
R6=40.072	d6=2.9	ndL2=1.83500	ν dL2=43.0
R7=-40.072	d7=variable		
R8=-130.120	d8=1.1	ndL3=1.83500	ν dL3=43.0
R9=11.909	d9=1.23		
R10=∞	d10=1.0	ndL4=1.75359	ν dL4=51.6
R11=7.755	d11=2.2	ndL5=1.84666	ν dL5=23.8
R12=31.164	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=9.845(ASP)	d14=1.5	ndL6=1.69350	ν dL6=53.3
R15=18.742	d15=variable		
R16=9.060	d16=2.5	ndL7=1.69350	ν dL7=53.3
R17=-9.060	d17=1.0	ndL8=1.84666	ν dL8=23.8
R18=-104.131	d18=4.75		
R19=35.898(ASP)	d19=1.0	ndL9=1.49200	ν dL9=57.2
R20=24.197(ASP)	d20=variable		
R21=∞	d21=1.5	ndL10=1.55232	ν dL10=63.4
R22=∞	d22=1.2	ndR=1.51880	ν dR=64.2
R23=∞	d23=1.0		
R24=∞	d24=0.75	ndC=1.55671	ν dC=58.6
R25=∞	d25=1.0		
R26=∞			

【0040】上記表4に示すように、ズームレンズ2のズーミング及びフォーカシング動作に伴って面間隔d7、d12、d15及びd20は可変(variable)である。従って、表5に広角端( $f = 5.3$ )、望遠端( $f = 15.5$ )及び広角端と望遠端との中間焦点位置( $f = 9.0$ )におけるd7、d12、d15及びd20の各数値、並びに、F No.、f及びωを示す。

#### 【0041】

【表5】

f	5.3	9.0	15.5
F No.	2.8	3.1	3.8
ω	87.0°	24.0°	14.5°
d7	0.8	7.17	11.4
d12	12.65	6.28	2.05
d15	8.99	6.09	2.0
d20	8.67	6.57	10.66

【0042】また、第3レンズ群GR3の第6レンズL6の物体側の面S14及び第4レンズ群GR4の第9レンズL9の物体側の面S19及び像面側の面S20は非球面によって構成されている。以下の表6に上記面S14、S19及びS20の4次、6次、8次及び10次の非球面係数C4、C6、C8及びC10を示す。

#### 【0043】

【表6】

	$\pi$	C4	C6	C8	C10
S14(R14)	0	-0.1224E-03	0.9870E-05	-0.1144E-05	0.4671E-07
S19(R19)	0	-0.9497E-03	0.3720E-04	-0.6771E-05	0.3284E-06
S20(R20)	0	-0.5412E-04	0.7292E-04	-0.8809E-05	0.4590E-06

【0044】図6乃至図8にズームレンズ2の広角端、広角端と望遠端との中間焦点位置及び望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図をそれぞれ示す。尚、球面収差図において、実線はe線、点線はC線、一点鎖線はd線、破線はF線、二点鎖線はg線における値を示すものであり、非点収差図において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面における値を示すものである。

\* 【0045】また、ズームレンズ2においては、第4レンズ群GR4の第9レンズL9にプラスチック製の非球面レンズを使用し、小型化、高性能化と共に、安価に製造できるズームレンズを構成している。

【0046】表7にズームレンズ3の各数値を示す。

【0047】

【表7】

\*

R1=55.641	d1=1.8	ndL1=1.85000	$\nu$ dL1=23.5
R2=18.216(ASP)	d2=5.5		
R3=∞	d3=9.5	ndP=1.56889	$\nu$ dP=56.0
R4=∞	d4=8.5	ndP=1.56889	$\nu$ dP=56.0
R5=∞	d5=0.5		
R6=32.203	d6=2.8	ndL2=1.76666	$\nu$ dL2=49.9
R7=-58.283	d7=variable		
R8=-53.723	d8=1.1	ndL3=1.84000	$\nu$ dL3=43.0
R9=17.458	d9=1.1		
R10=∞	d10=1.0	ndL4=1.84000	$\nu$ dL4=43.0
R11=7.863	d11=2.0	ndL5=1.83916	$\nu$ dL5=23.8
R12=48.420	d12=variable		
R13=∞	d13=1.5		
R14=18.484(ASP)	d14=2.0	ndL6=1.80610	$\nu$ dL6=40.7
R15=15.066	d15=variable		
R16=7.899	d16=3.0	ndL7=1.79554	$\nu$ dL7=46.8
R17=-33.011	d17=1.5	ndL8=1.80688	$\nu$ dL8=25.6
R18=6.087	d18=3.3	ndL9=1.69350	$\nu$ dL9=53.3
R19=22.035(ASP)	d19=variable		
R20=∞	d20=1.5	ndL10=1.55232	$\nu$ dL10=63.4
R21=∞	d21=1.2	ndIR=1.51580	$\nu$ dIR=64.2
R22=∞	d22=1.0		
R23=∞	d23=0.75	ndCG=1.55571	$\nu$ dCG=58.6
R24=∞	d24=1.0		
R25=∞			

【0048】上記表7に示すように、ズームレンズ3のズーミング及びフォーカシング動作に伴って面間隔d7、d12、d15及びd19は可変(variable)である。従って、表8に広角端(f=5.3)、望遠端(f=15.5)及び広角端と望遠端との中間焦点位置(f=9.0)におけるd7、d12、d15及びd19の各数値、並びに、FNo.、f及び $\omega$ を示す。

【表8】

【0049】

<b>f</b>	<b>5.3</b>	<b>9.0</b>	<b>15.5</b>
<b>FNo.</b>	<b>2.4</b>	<b>2.6</b>	<b>3.1</b>
<b>w</b>	<b>37.0°</b>	<b>24.0°</b>	<b>14.5°</b>
<b>d7</b>	<b>0.8</b>	<b>8.08</b>	<b>18.2</b>
<b>d12</b>	<b>14.41</b>	<b>7.12</b>	<b>2.0</b>
<b>d15</b>	<b>7.28</b>	<b>5.11</b>	<b>2.0</b>
<b>d19</b>	<b>5.19</b>	<b>7.34</b>	<b>10.45</b>

	<b><math>\alpha</math></b>	<b>C4</b>	<b>C8</b>	<b>C8</b>	<b>C10</b>
S2(R2)	0	-0.4475E-05	0.2083E-07	-0.6288E-10	-0.7920E-12
S14(R14)	0	-0.6561E-04	0.1709E-05	-0.1885E-06	0.6031E-08
S19(R19)	0	0.1058E-02	0.2442E-04	0.4797E-06	0.3475E-07

【0052】ズームレンズ3においては、上記したように、第1レンズ群GR1内の第1レンズL1の像面側の面S2を非球面によって構成することによって、像面弯曲及び長焦点距離域での球面収差を補正するようしている。

【0053】図10乃至図12にズームレンズ3の広角端、広角端と望遠端との中間焦点位置及び望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図をそれぞれ示す。尚、球面収差図において、実線はe線、点線はC線、一点鎖線はd線、破線はF線、二点鎖線はg線における値を示すものであり、非点収差図において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面における値を※

※示すものである。

【0054】上記ズームレンズ3においては、第1の実施例におけるズームレンズ1と同様に、第4レンズ群GR4を3枚のレンズL7、L8及びL9の接合レンズによって構成することにより、第4レンズ群GR4内での偏心による像面の倒れを小さくし、製造をも容易にするようにしたものである。

【0055】以下の表10に上記第1乃至第3の実施例に示したズームレンズ1乃至3の条件式1乃至3の各条件を求めるための各数値及び各条件式の値を示す。

【0056】

【表10】

実施の形態	<b>ndL1</b>	<b><math>\nu dL1</math></b>	<b>fGR1</b>	<b>fw</b>	<b>fGR1/fw</b>
1	1.85000	23.5	38.29	5.3	7.22
2	1.84668	23.8	32.99	5.3	6.22
3	1.85000	23.5	38.94	5.3	7.27

【0057】ズームレンズ1乃至3は、上記表10からも明らかなように、条件式1乃至3の条件を満足し、また、各収差図に示すように、広角端、広角端と望遠端との中間焦点位置及び望遠端において、各種収差もバランス良く補正されている。

【0058】このように、ズームレンズ1乃至3は、広角端における画角が74°と、十分に広角領域を含むものであり、各種収差も良好に補正されているため、特に、画素数の多い撮像素子を使用したデジタルスチルカメラ用として好適なものである。

【0059】尚、前記実施の形態において示した各部の具体的な形状及び構造は、何れも本発明を実施するに当たっての具体化のほんの一例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されることがあってはならないものである。

【0060】

【発明の効果】以上に記載したところから明らかのように本発明ズームレンズは、物体側から像面側へと順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とから成り、上記第2レンズ群と第4レンズ群とを移動させることによりズーミングを行うようにしたズームレンズにおいて、第1レンズ群を物体側から順に、負の屈折力を有する単レンズの第1レンズ、光路を折り曲げるプリズム、正の屈折力を有する単レンズの第2レンズによって構成したので、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の小型の撮像機器に最適な変倍比3倍程度のズームレンズを小型化することができる。

【0061】請求項2に記載したズームレンズにあっては、ndL1を第1レンズのd線での屈折率、 $\nu dL1$ を第1レンズのd線でのアッペ数とすると、ndL1 >

1. 75,  $v d L 1 < 30$  の各条件を満足するようにしたので、第1レンズ群で発生する歪曲収差及び色収差を良好に補正することができる。

【0062】請求項3に記載したズームレンズにあっては、第1レンズの少なくとも1の面を非球面によって構成したので、像面湾曲及び長焦点距離域における球面収差を良好に補正することができる。

【0063】請求項4乃至請求項6に記載した発明にあっては、第1レンズの物体側を向いた面を凸面としたので、レンズ全系で補正することができるようになる。

【0064】請求項7乃至請求項12に記載した発明にあっては、第4レンズ群を構成するレンズの各面のうち、少なくとも1面を非球面によって構成したので、第1レンズ群より発生する広角端における負の歪曲収差を効果的に補正することができるようになるので、第1レンズ群の負の単レンズのパワーを強くすることが可能になって、より広い画角を得ることができるようになる。

【0065】請求項13乃至請求項24に記載した発明にあっては、 $f_{GR1}$ を第1レンズ群の焦点距離、 $f_w$ をレンズ全系のワイド端での焦点距離とすると、 $4.5 < f_{GR1}/f_w < 12$  の条件を満足するようにしたので、球面収差の補正、十分な広画角化及び小型化を達成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図2乃至図4と共に、本発明ズームレンズの第1の実施の形態を示すものであり、本図はレンズ構成を示す概略図である。

【図2】広角端における球面収差、非点収差及び歪曲収差

10 差を示す図である。

【図3】広角端と望遠端との中間焦点位置における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図4】望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図5】図6乃至図8と共に、本発明ズームレンズの第2の実施の形態を示すものであり、本図はレンズ構成を示す概略図である。

【図6】広角端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図7】広角端と望遠端との中間焦点位置における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図8】望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図9】図10乃至図12と共に、本発明ズームレンズの第3の実施の形態を示すものであり、本図はレンズ構成を示す概略図である。

【図10】広角端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

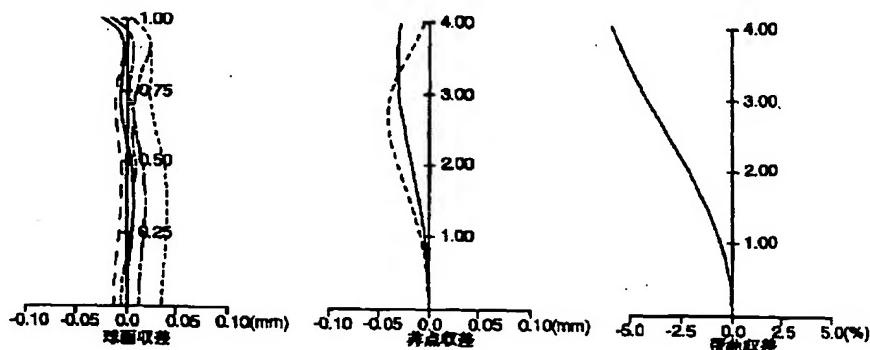
【図11】広角端と望遠端との中間焦点位置における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

【図12】望遠端における球面収差、非点収差及び歪曲収差を示す図である。

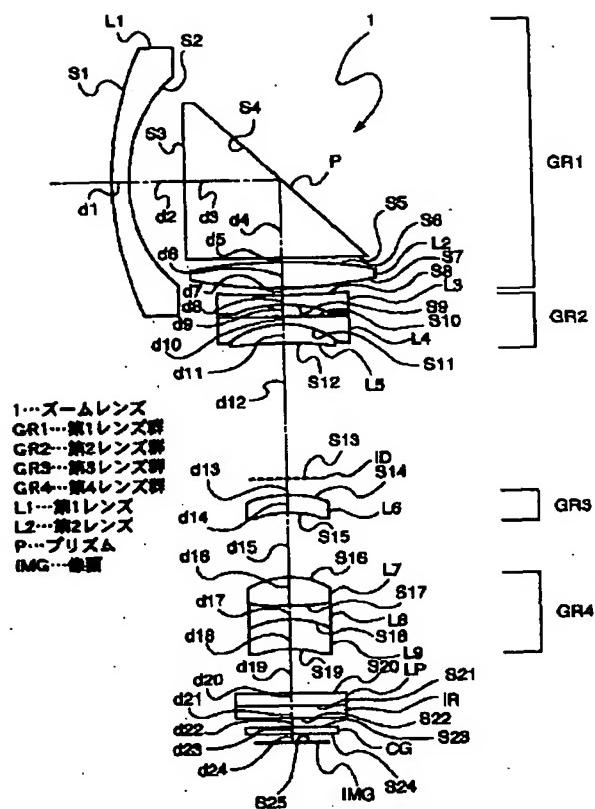
#### 【符号の説明】

1…ズームレンズ、2…ズームレンズ、3…ズームレンズ、GR1…第1レンズ群、GR2…第2レンズ群、GR3…第3レンズ群、GR4…第4レンズ群、L1…第1レンズ、L2…第2レンズ、P…プリズム、IMG…像面

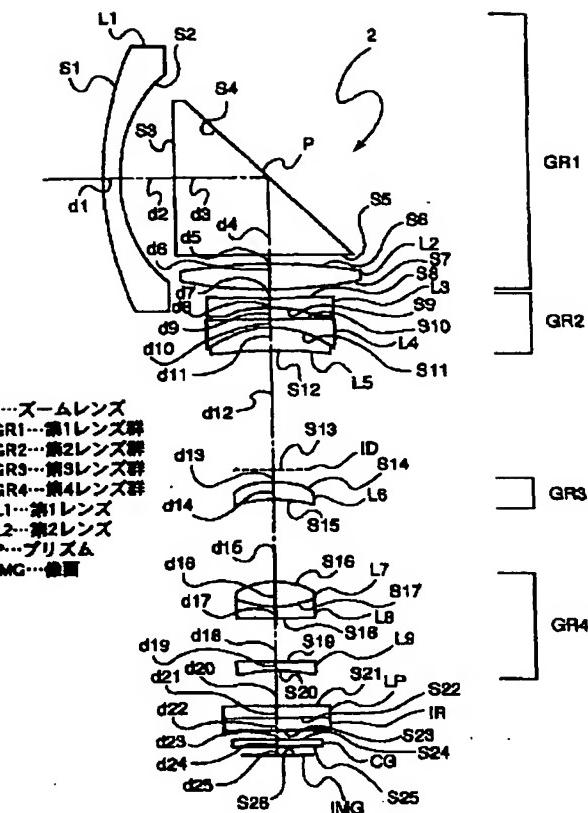
【図2】



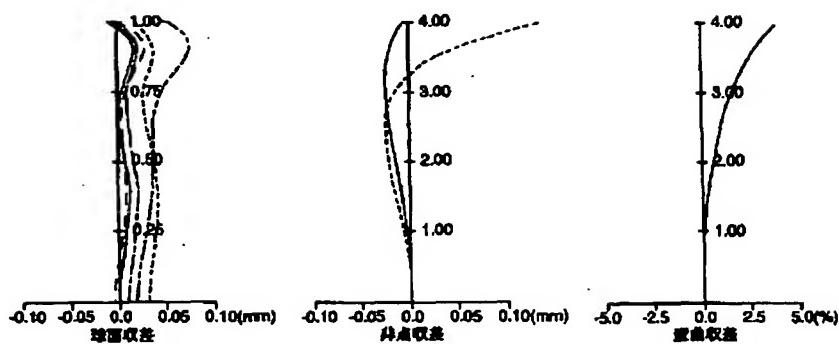
【図1】



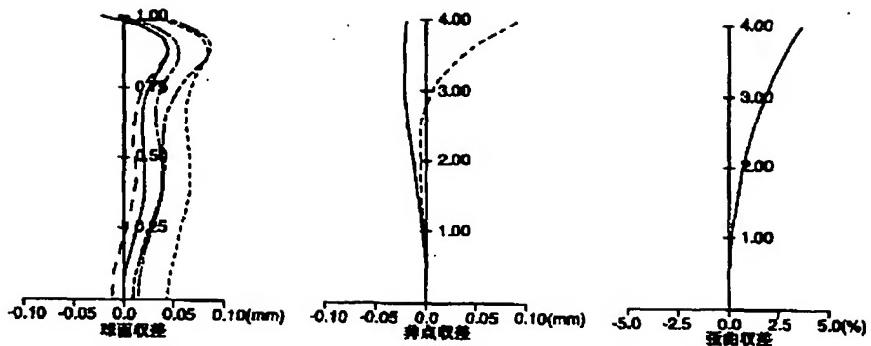
【図5】



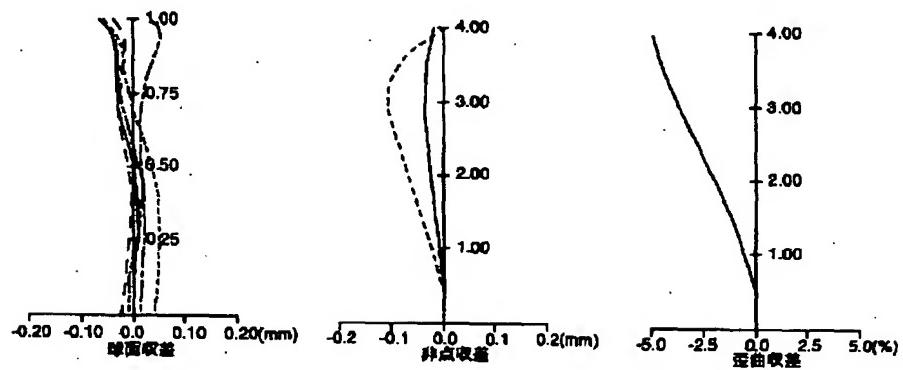
【図3】



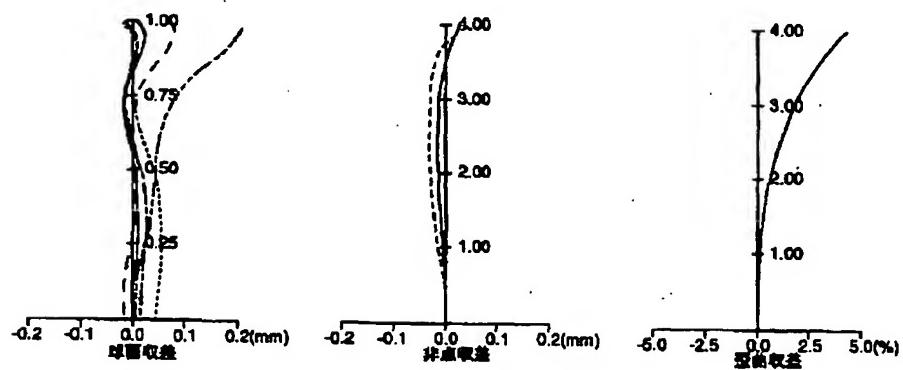
【図4】



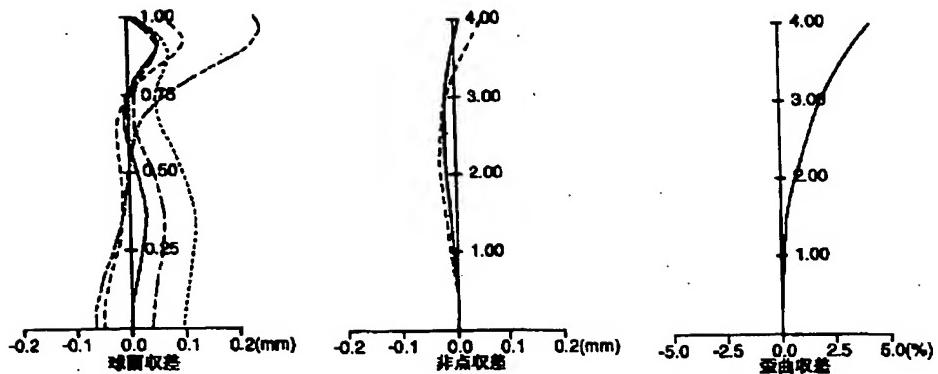
【図6】



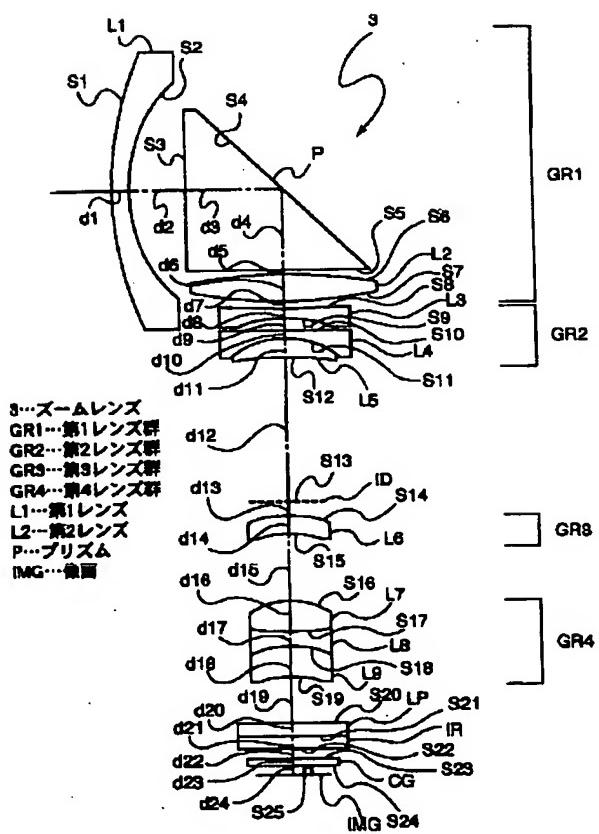
【図7】



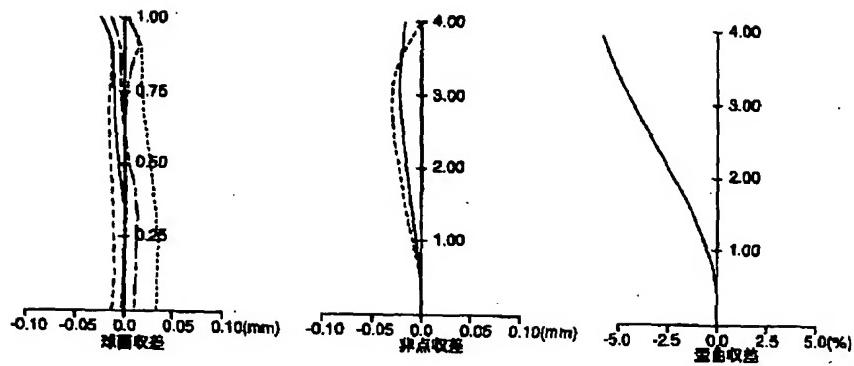
【図8】



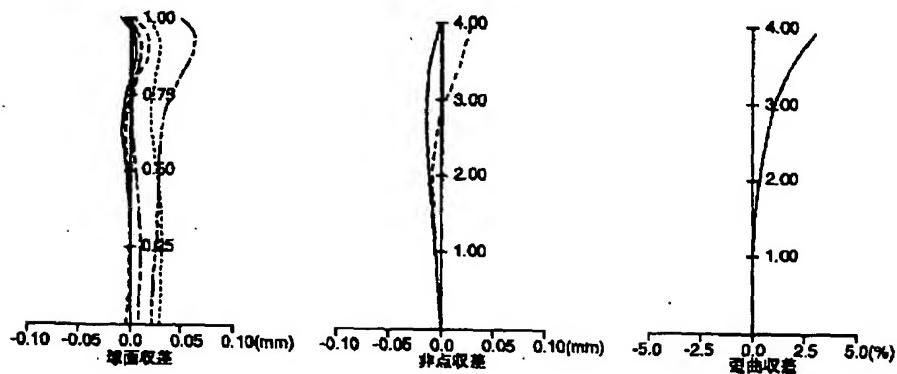
【図9】



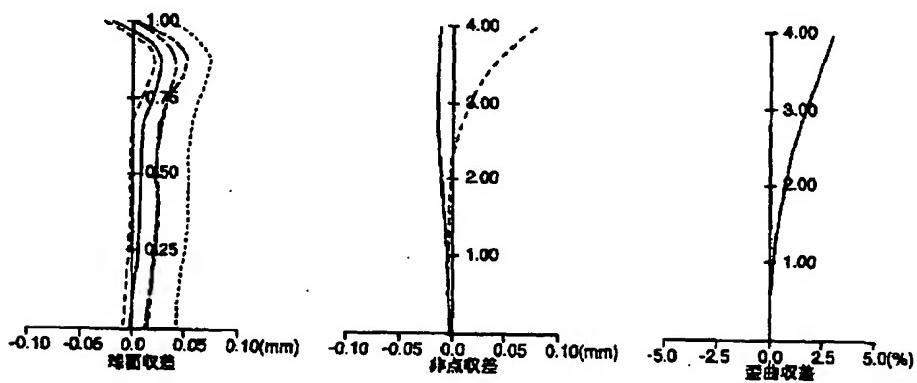
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA03 MA15 PA06 PA07 PA19  
PB09 QA02 QA06 QA17 QA21  
QA26 QA32 QA37 QA42 QA45  
RA05 RA12 RA32 RA41 RA43  
SA23 SA27 SA29 SA32 SA63  
SA65 SB03 SB14 SB22 SB34  
TA03